3С

УДК 004.934

Р.А. Селюх, О.А. Юхименко
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем,
м. Київ, Україна
Україна, 03680, МСП, м. Київ, просп. Акад. Глушкова, 40, selyukh@uasoiro.org.ua, yukhymenko@uasoiro.org.ua

Прикладне застосування адаптації на голос диктора в системах послівного розпізнавання

R.A. Selyukh, O.A. Yukhymenko
International Research/Training Centre for Information Technologies and Systems,
c. Kyiv, Ukraine
Ukraine, 03680 Kyiv, ave. Acad. Glushkov, 40, selyukh@uasoiro.org.ua, yukhymenko@uasoiro.org.ua

Speaker Adaptation Application in Isolated Word Recognition Systems

Р.А. Селюх, А.А. Юхименко
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем,
г. Киев, Украина
Украина, 03680, МСП Киев, просп. Акад. Глушкова, 40,selyukh@uasoiro.org.ua, yukhymenko@uasoiro.org.ua

Прикладное применение адаптации на голос диктора в системах пословного распознавания

Стаття присвячена розгляду та аналізу різних варіантів адаптації систем пофонемного розпізнавання ізольованих слів української мови до нового диктора. Описується метод адаптації під назвою «лінійна регресія максимальної правдоподібності» (MLLR). У рамках цього методу шляхом оптимізації значення критерію розпізнавання обчислюються матриці лінійних перетворень, за якими адаптуються акустичні моделі фонем. Наводяться результати експериментальних досліджень розпізнавання мовлення адаптованої системи. Аналізуються дані розпізнавання адаптованих моделей залежно від кількості слів в адаптаційній вибірці.
Ключові слова: адаптація, лінійна регресія максимальної правдоподібності, моделі фонем, матриці лінійних перетворень.

The paper deals with different variants of practical application of speaker adaptation for phoneme recognition of Ukrainian isolated words. The method of Maximum Likelihood Linear Regression (MLLR) is described. The matrixes of linear transformation are estimated in order to correct initial acoustic phoneme models. The results of experimental research of the adapted recognition system are discussed; particularly the amount of words in the adaptation sample is analyzed.
Key Words: speaker adaptation, maximum likelihood linear regression, linear transformation.

Статья посвящена рассмотрению и анализу различных вариантов адаптации систем пофонемного распознавания изолированных слов украинского языка к новому диктору. Описывается метод адаптации под названием «линейная регрессия максимальной правдоподобности» (MLLR). В рамках этого метода путем оптимизации значения критерия распознавания вычисляются матрицы линейных преобразований, которые задействованы в адаптации акустических моделей фонем. Представлены результаты экспериментальных исследований распознавания речи адаптированной системы. Анализируются данные распознавания адаптированных моделей в зависимости от количества слов в адаптационной выборке.
Ключевые слова: адаптация, фонемы, распознавание, линейная регрессия максимальной правдоподобности, обучение.

Вступ

Пофонемне розпізнавання мовленнєвого сигналу передбачає формування усномовного паспорта диктора, що включає акустичні моделі фонем (ймовірнісні параметри моделей) [1]. Оцінка цих параметрів проводиться за навчальною вибіркою, яка повинна містити все фонемне розмаїття мови. Досвід формування таких вибірок показав, що їх обсяги повинні бути достатньо великими, а це в свою чергу призводить до того, що диктору необхідно витратити багато годин для запису своєї навчальної вибірки, щоб досягти прийнятної надійності при пофонемному розпізнаванні мовлення з великих словників [2]. Така система розпізнавання буде давати цілком прийнятні результати для диктора, на базі котрого проходило навчання розпізнаванню (оцінка параметрів). Цей диктор буде називатися опорним. Але для іншого, нового диктора, ця сама система розпізнавання буде працювати не досить добре, якщо не сказати – погано.

Безпосередній висновок з цього випливає абсолютно чіткий та прямолінійний – провести в точності таке ж саме навчання для нового диктора, як і для опорного, з використанням такої ж самої великої навчальної вибірки. Але цілком можлива наступна гіпотетична ситуація – або новий диктор не має жодної можливості наговорювати велику навчальну вибірку (цілком свідомо, за браком часу, наприклад), або ж не має, також цілком свідомо, ані найменшого бажання це робити (і з цим, безсумнівно, також треба рахуватися в певному сенсі), або ж новий диктор розпізнається поза його поінформованості про це й нема можливості звертатися до нього з проханням наговорити велику навчальну вибірку.

Виникає цілком слушне питання – а чи не можна новому дикторові вимовити відносно невелику навчальну вибірку, а потім за допомогою певних методів провести пристосування (адаптацію) до вже існуючої системи розпізнавання, що навчена на опорного диктора, й при цьому отримати прийнятну надійність розпізнавання? Принципово така можливість мусить існувати. Порівняння відеоспектрограм, отриманих з аналізу мовлення різних дикторів, показує, що при всьому різноманітті прояву індивідуальних особливостей голосів, відеоспектрограми одних й тих самих слів достатньо схожі [3]. Таким чином, необхідно перетворити мовні сигнали одного диктора в мовні сигнали іншого.

Отже, задача адаптації передбачає попереднє проведення навчання розпізнаванню на голос деякого опорного диктора або кооперативу дикторів. Потім здійснюється коригування параметрів акустичних моделей фонем для нового диктора на відносно невеликій вибірці – адаптаційній. Також адаптація може проводитися і до зміни умов розпізнавання, як, наприклад, перехід на інший канал отримання усномовної інформації (інший мікрофон, телефонна лінія).

Метою роботи є дослідити та проаналізувати застосування різних підходів в адаптації на голос диктора при пофонемному розпізнаванні окремо вимовлюваних слів українського мовлення.

Задача адаптації та шляхи її розв’язання

Нехай маємо оцінені параметри акустичних генеративних моделей фонем на підставі ітераційних процедур для опорного диктора або для кооперативу дикторів [3], [4]. Зокрема, для кожної з трьох фаз-станів фонеми φ (рис. 1) нам відомі вектор математичного сподівання $\mu = [\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n]^T$ та коваріаційна матриця Σ, розмірністю $n \times n$, де n – розмірність вектора первинних ознак сигналу.

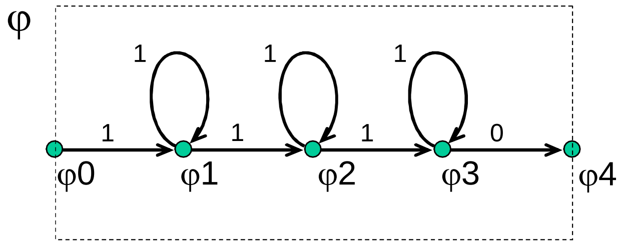


Рисунок 1 – Генеративна модель фонеми φ з трьома фазами-станами φ1, φ2, φ3 (початковий стан φ0 і кінцевий стан φ4 вводяться для сполучення з іншими моделями фонем в словах. Число поруч із дужкою вказує на кількість часових відліків, за які здійснюється перехід)

Припускається, що існує лінійне перетворення, яке переводить початкові вектори математичного сподівання опорного диктора або кооперативу дикторів у вектори математичного сподівання для нового диктора. Це лінійне перетворення являє собою матрицю розмірністю $n \times (n+1)$. Ефектом цього перетворення є зсув середніх значень параметрів моделей фонем та зміна дисперсій цих параметрів у початковій системі таким чином, що кожний стан у системі акустичних моделей фонем буде точніше генерувати дані адаптації, котрі отримані від нового диктора.

Лінійне перетворення для вектора математичного сподівання записується у вигляді:

$$\hat{\mu} = W\xi \quad , \tag{1}$$

де $\hat{\mu}$ – вектор матсподівання нового диктора, W є матрицею розмірністю $n \times (n+1)$, ξ – вектор розширеного матсподівання:

$$\xi = [1, \mu_1, \mu_2, ..., \mu_n]^T . \tag{2}$$

У свою чергу, матриця W може бути представлена у вигляді:

$$W = [b \quad A], \tag{3}$$

де A є матрицею лінійних перетворень розмірністю $n \times n$, а b представляє вектор зміщення в n-вимірному просторі.

У такій формі перетворення зручніше обчислюється в умовах неперервного розподілу за нормальним законом.

Лінійне перетворення також коваріаційних матриць записується у вигляді:

$$\hat{\Sigma} = B^T HB \quad , \tag{4}$$

де H – матриця перетворення розмірністю $n \times n$, котру необхідно обчислити;

B – розклад Холецького для коваріаційної матриці Σ, такий, що:

$$\Sigma = CC^T ,$$
$$B = C^{-1} .$$

Матриці лінійних перетворень отримуються шляхом оптимізації значення критерію розпізнавання. Одним з таких оптимізаційних алгоритмів є лінійна регресія максимальної правдоподібності (Maximum Likelihood Linear Regression – MLLR) [4]. Параметри всіх станів всіх фонем у системі розпізнавання програмно поділяються на певну кількість класів регресії методами векторного квантування, а потім для кожного класу регресії обчислюються дві матриці лінійних перетворень – для матсподівання та для коваріаційної матриці. У випадку, коли стани моделей фонем задаються сумішшю нормальних законів розподілу – гаусіанами (кожний стан буде мати декілька векторів матсподівання і таку ж кількість коваріаційних матриць), тоді до класів регресії входять окремі гаусіани.

Нижче наведена стандартна допоміжна функція, котра використовується для обчислення перетворень (1) та (4):

$$Q(M,\hat{M}) = -\frac{1}{2}\sum_{r=1}^{R}\sum_{m_r=1}^{M_r}\sum_{t=1}^{T} L_{m_r}(t)\left[K^{(m_r)} + \ln(|\hat{\Sigma}_{m_r}|) + (o(t)-\hat{\mu}_{m_r})^T \cdot \hat{\Sigma}_{m_r}^{-1} \cdot (o(t)-\hat{\mu}_{m_r})\right]$$

де M – множина моделей фонем опорного диктора;

$\hat{M}$ – адаптована множина моделей фонем;

R – кількість класів регресії;

M_r – кількість гаусіанів в r-му класі регресії;

T – кількість n-вимірних векторів спостереження з адаптаційної вибірки;

$o(t)$ – n-вимірний вектор спостереження з адаптаційної вибірки в дискретний момент часу $t, 1 \le t \le T$;

$L_{m_r}(t)$ – ймовірність того, що вектор спостереження $o(t)$ був «згенерований» гаусіаном з номером m_r;

$K^{(m_r)}$ містить всі константи гаусіана m_r.

Для знаходження матриці перетворення, наприклад, векторів матсподівання, робиться заміна у виразі для MLLR адаптації матсподівання

$$\hat{\mu}_{m_r} = W_r \xi_{m_r} \ , \ \hat{\Sigma}_{m_r} = \Sigma_{m_r} \ ,$$

в допоміжну функцію, й, маючи на увазі, що коваріаційні матриці – діагональні, отримуємо:

$$Q(M,\hat{M}) = -\frac{1}{2}\sum_{r=1}^{R}\sum_{m_r=1}^{M_r}\sum_{t=1}^{T} L_{m_r}(t)\left[K^{(m_r)} + \ln(|\Sigma_{m_r}|) + (o(t)-W_r\xi_{m_r})^T \cdot \Sigma_{m_r}^{-1} \cdot (o(t)-W_r\xi_{m_r})\right].$$

Після певної кількості перетворень отримуємо формулу у вигляді:

$$Q(M,\hat{M}) = K - \frac{1}{2}\sum_{r=1}^{R}\sum_{i=1}^{n}\left[w_{ri}G_r^{(i)}w_{ri}^T - 2w_{ri}k_r^{(i)}\right],$$

де w_{ri} – i-й рядок матриці W_r,

$$G_r^{(i)} = \sum_{m_r=1}^{M_r}\frac{1}{\sigma_{m_r i}^2}(\xi_{m_r}\xi_{m_r}^T)\sum_{t=1}^{T}L_{m_r}(t),$$

$$k_r^{(i)} = \sum_{m_r=1}^{M_r}\sum_{t=1}^{T}L_{m_r}(t)\frac{1}{\sigma_{m_r i}^2}\xi_{m_r}o_i(t)).$$

Диференціюючи допоміжну функцію відносно перетворення W_r, а потім максимізуючи відносно до перетвореного матсподівання, отримуємо формули для обчислення матриці перетворення:

$$w_{ri} = k_r^{(i)}G_r^{(i)^{-1}}, i = 1:n, r = 1:R.$$

Експериментальна база

Були проведені експериментальні дослідження. В першому експерименті були задіяні окремі диктори як опорні та нові.

В подальших експериментах були задіяні 67 дикторів (25 чоловіків і 42 жінки). Оскільки є загальновідомим той факт, що надійність розпізнавання жіночих голосів нижча [5], кількість жінок-дикторів більша за кількість чоловіків. Тут кожний диктор

наговорював свою певну навчальну вибірку (НВ). Оскільки цих певних НВ було 10, то різні диктори могли наговорювати однакові слова. Всього цими дикторами було наговорено 2416 різних слів. До алфавіту фонем увійшло 55 елементів. До базового кооперативу дикторів (група дикторів, на навчальній базі котрих було проведено навчання системи розпізнавання) відібрали 53 диктори. Решта 14 дикторів (7 чоловіків та 7 жінок) увійшли до контрольної групи. Диктори з контрольної групи наговорювали один і той самий набір слів (241 слово). Реалізації цих слів не входять до базового кооперативу.

Результати експериментальних досліджень

Перший експеримент полягав у тому, що створювалися системи розпізнавання на базі одного опорного диктора. Потім проводилася адаптація нових дикторів до цієї системи. Слід зазначити, що при такому підході автори отримали невисоку надійність розпізнавання, а саме від 30 до 50 процентів після адаптації. Тому було вирішено перейти від одного опорного диктора до кооперативу дикторів.

Другий експеримент полягав у тому, що як «опорного диктора» використали кооператив 53 дикторів. Диктори різної статі, віку, з різних міст України. Група дикторів з контрольної групи (14 дикторів) з різних міст, усі наговорювали один і той самий набір слів (241 слово).

Результати другого експерименту відображені у табл. 1. У ній наведена усереднена надійність розпізнавання до та після адаптації на базовий кооператив дикторів кожного диктора з контрольної групи окремо на 30, 60, 100 і 150 слів.

Кількість гаусіанів у сумішах моделей фонем – 16.

Результати, наведені у табл. 1, показують, що після адаптації на голос нового диктора надійність розпізнавання в середньому виросла на 3,66% для адаптаційної вибірки об’ємом у 30 слів, на 4,45% – для 60 слів, на 5,33% – для 100 слів, на 5,93% – для 150 слів.

Таблиця 1 – Усереднені результати розпізнавання тестових вибірок слів для контрольної групи дикторів після адаптації на різну кількість слів – 30, 60, 100 та 150 слів

Кількість слів на адаптацію / Диктори	До адаптації	30	60	100	150
1. Ганя	93,78	95,13	95,30	95,32	97,07
2. Ганна	91,29	92,76	93,19	93,90	94,51
3. Богдан	80,50	89,71	90,98	92,62	95,24
4. Валентина	95,02	95,26	96,13	96,03	94,87
5. Дмитро	92,12	95,60	96,96	97,73	97,80
6. Катерина	79,25	86,60	87,66	90,21	90,48
7. Олена	90,46	94,11	95,40	95,32	96,34
8. Олеся	92,53	96,82	97,79	98,01	97,80
9. Руслан	89,21	93,23	94,57	95,46	95,24
10. Сергій	95,81	96,41	96,60	97,45	97,80
11. Слава	89,21	93,09	92,81	93,62	93,77
12. Тетяна	87,14	91,33	93,00	94,33	96,33
13. Юрій	89,21	93,16	93,93	96,31	96,70
14. Юрій В.	92,53	96,07	96,04	96,31	97,07
В середньому по групі	89,86	93,52	94,31	95,19	95,79

На рис. 2 зображений графік надійності розпізнавання в середньому по контрольній групі дикторів до та після адаптації.

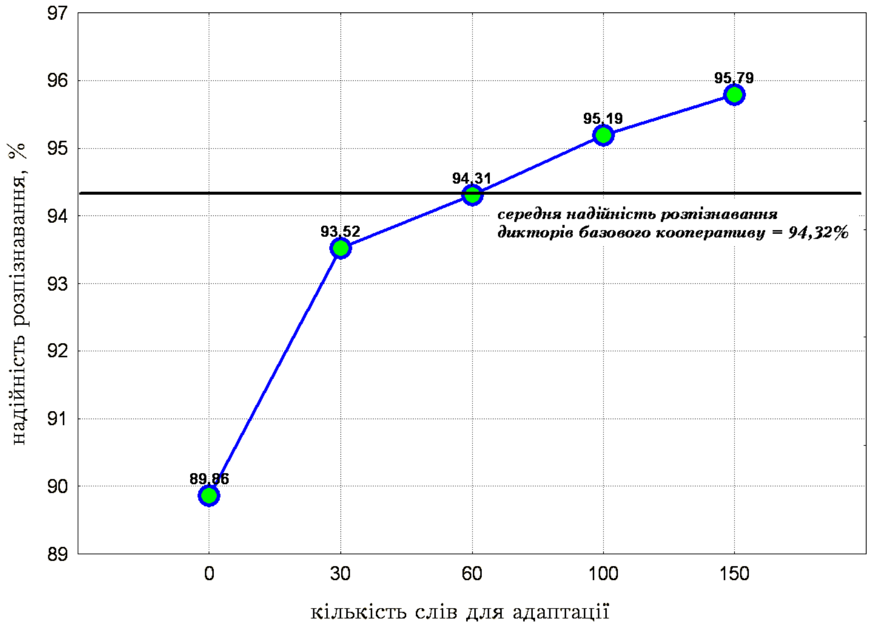


Рисунок 2 – Усереднена надійність розпізнавання дикторів контрольної групи до та після адаптації при різній кількості слів в адаптаційній вибірці (АВ)

Навчання розпізнаванню проводилось на основі бази даних для 53 дикторів з п’яти міст України. При адаптації обчислювалися матриці переходу для середнього та дисперсії.

Додатково були проведені дослідження з питання – що краще: навчання нового диктора на зазначену кількість слів (30, 60, 100 та 150) чи адаптація на цю кількість слів? В результаті вияснилося, що кращі результати отримуємо при адаптації. Навіть 150 слів на окреме навчання нового диктора було недостатньо, щоб отримати результати кращі, ніж при адаптації.

Третій експеримент полягав у тому, щоб базовий кооператив розбити на два кооперативи за гендерною ознакою. За такою ж ознакою контрольна група розбивалася на дві – жінок-дикторів і чоловіків-дикторів. У даному випадку жінки-диктори адаптувалися до жіночого кооперативу, а чоловіки-диктори – до чоловічого відповідно. Прогнозувалося, що через суттєву різницю жіночих і чоловічих голосів це дасть підвищення надійності розпізнавання після адаптації. Слід зазначити, що перед цим експериментом проводилися експерименти з розпізнавання голосів дикторів з альтернативою «чоловічий – жіночий голос». Система практично стовідсотково розпізнавала, де голос жіночий, а де чоловічий. Отже, віднести диктора до конкретної гендерної групи не є складним. Врешті-решт, в певних ситуаціях, коли адаптація для диктора є цілком усвідомленою для нього, то можна «спитати» цього диктора, хто він є. Ця процедура не повинна відібрати багато часу у нового диктора.

У табл. 2 наведені усереднені результати надійності розпізнавання для контрольної групи дикторів жіночої статі до адаптації та після адаптації до кооперативу жінок-дикторів на різну кількість слів.

Контрольна група (7 жінок-дикторів) з різних міст, усі наговорювали один і той самий набір слів (241 слово). З табл. 2 випливає, що після адаптації до голосу нового диктора надійність розпізнавання в середньому зросла на 2,41% для адаптаційної вибірки об’ємом 30 слів, на 2,95% – для 60 слів, на 3,76% – для 100 слів, на 4,46% – для

150 слів. На рис. 3 зображені порівняльні графіки надійності розпізнавання в середньому по контрольній групі жінок-дикторів без урахування гендерності та з урахуванням.

Навчання розпізнаванню проводилось на основі бази даних для 36 дикторів жіночої статі з декількох міст України.

Таблиця 2 – Усереднені результати розпізнавання тестових вибірок слів для контрольної групи жінок-дикторів після адаптації до кооперативу жінок-дикторів на різну кількість слів – 30, 60, 100 та 150 слів

Кількість слів на адаптацію / Диктори	До адаптації	30	60	100	150
Ганя	95,85	96,21	96,60	97,30	98,90
Ганна	92,95	93,64	94,02	94,61	96,33
Катерина	84,65	89,37	89,78	92,20	93,04
Олена	93,36	96,07	96,41	96,45	97,44
Олеся	92,95	97,16	97,61	98,15	97,80
Валентина	94,19	94,51	95,58	96,45	95,97
Тетяна	88,80	92,62	93,37	93,90	94,51
В середньому по групі	91,82	94,23	94,77	95,58	96,28
Без врахування гендерності	89,92	93,14	94,07	94,73	95,34

Таблиця 3 – Усереднені результати розпізнавання тестових вибірок слів для контрольної групи чоловіків-дикторів після адаптації до кооперативу чоловіків-дикторів на різну кількість слів – 30, 60, 100 та 150 слів

Кількість слів на адаптацію / Диктори	До адаптації	30	60	100	150
Богдан	84,65	89,37	89,96	90,64	92,31
Дмитро	92,95	94,18	95,21	96,31	97,07
Руслан	87,97	94,04	94,67	96,31	95,60
Сергій	96,34	96,55	96,04	98,01	96,70
Слава	91,70	93,57	94,01	94,61	94,87
Юрій	90,04	91,81	93,46	93,48	93,41
Юрій В.	91,29	96,47	95,96	97,02	97,43
В середньому по групі	90,71	93,71	94,19	95,20	95,34
Без врахування гендерності	89,80	93,90	94,56	95,64	96,23

У табл. 3 наведені усереднені результати надійності розпізнавання для контрольної групи дикторів чоловічої статі до адаптації та після адаптації до кооперативу чоловіків-дикторів на різну кількість слів. Контрольна група (7 чоловіків-дикторів) з різних міст, усі наговорювали один і той самий набір слів (241 слово). З табл. 3 видно, що після адаптації до голосу нового диктора надійність розпізнавання у середньому зросла на 3% для адаптаційної вибірки об’ємом 30 слів, на 3,48% – для 60 слів, на 4,49% – для 100 слів, на 4,63% – для 150 слів. На рис. 4 зображені порівняльні графіки надійності розпізнавання в середньому по контрольній групі чоловіків-дикторів без урахування гендерності та з урахуванням.

Навчання розпізнаванню проводилось на основі бази даних для 17 дикторів чоловічої статі з декількох міст України.

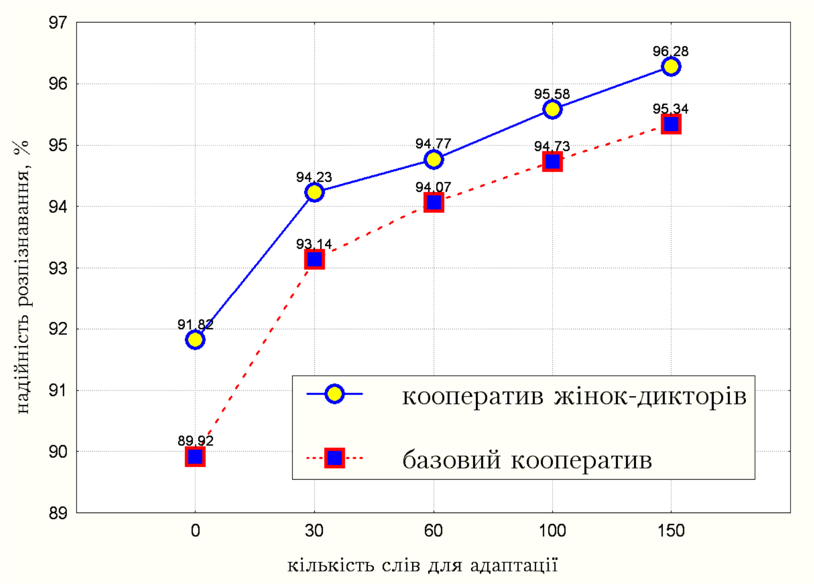


Рисунок 3 – Усереднена надійність розпізнавання дикторів жіночої статі до і після адаптації при різній кількості слів в АВ

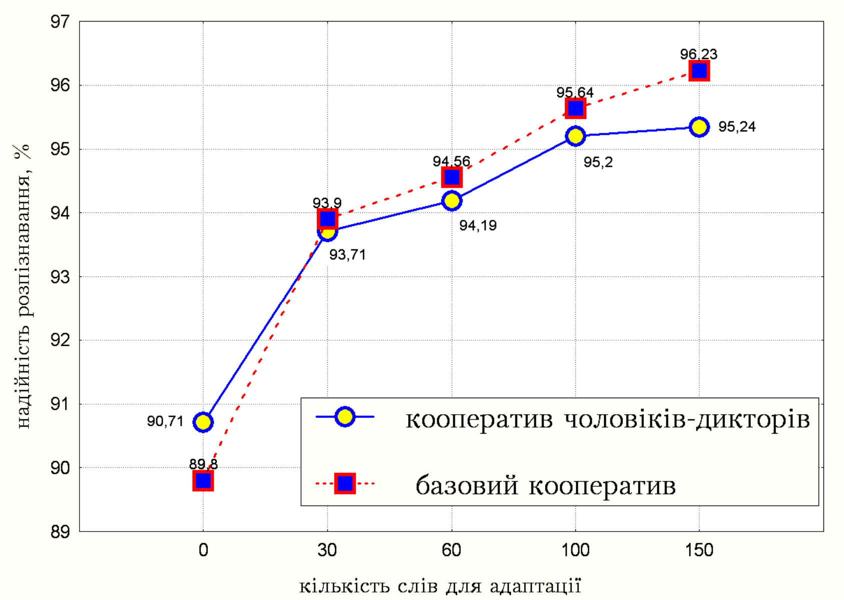


Рисунок 4 – Усереднена надійність розпізнавання дикторів чоловічої статі до і після адаптації при різній кількості слів в АВ

Висновки

Результати експериментальних досліджень наявно показують доцільність застосування адаптації. Необхідно відзначити, що середня надійність розпізнавання самих дикторів з базового кооперативу складає 94,32%. Фактично в контрольній групі дикторів уже при адаптації на 60 слів досягається ця надійність (у середньому, зрозуміло), не кажучи вже про більшу кількість слів для адаптації. При цьому диктори базового кооперативу наговорили більше дванадцяти тисяч слів у загальній навчальній вибірці. У такій ситуації перевага адаптації очевидна.

Подальша адаптація до голосу диктора на основі гендернозалежних акустичних моделей показала таку ж динаміку зменшення помилок для дикторів жіночої статі. Цей ефект не спостерігався для чоловічої статі, імовірно, з причини меншої кількості дикторів-чоловіків у базовому кооперативі.

Література

1. Vintsiuk Taras. Speaker Voice Passport for a Spoken Dialogue System / Taras Vintsiuk, Mykola Sazhok // Proceedings of the 3rd International Workshop «Speech and Computer» – Specom'98. – St.-Petersburg, 1998. –P. 275-278.
2. Vasylieva N. Text Selection for Training Procedures under Phoneme Units Variety / N. Vasylieva, M. Sazhok // Proceedings of the 10th International Conference on Speech and Computer – SpeCom'2005. – Patras, 2005. – P. 69-76.
3. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и смысловая интерпретация речевых сигналов / Винцюк Т.К. – Киев : Наукова думка, 1987.
4. Young S.J. HTK Book, version 3.1 / Young S.J. [et al]. – Cambridge University, 2002. – 355 p.
5. Olsen Peder. An efficient integrated gender detection scheme and time mediated averaging of gender dependent acoustic models / Peder Olsen and Satya Dharanipragada // Eurospeech (Geneva, Switzerland). – 2003. – № 4 (September 1-4). – P. 2509-2512.
6. Сажок М. Адаптація акустичних моделей фонем до голосу диктора для пофонемного розпізнавання ізольованих слів української мови / М. Сажок, Р. Селюх, О. Юхименко // Штучний інтелект. – 2009. – № 4. – С. 230-233.

Literatura

1. Vintsiuk Taras. Speaker Voice Passport for a Spoken Dialogue System / Taras Vintsiuk, Mykola Sazhok // Proceedings of the 3rd International Workshop «Speech and Computer». Specom'98. St.-Petersburg, 1998. P. 275-278.
2. Vasylieva N. Text Selection for Training Procedures under Phoneme Units Variety / N. Vasylieva, M. Sazhok // Proceedings of the 10th International Conference on Speech and Computer SpeCom'2005. Patras, 2005, P. 69-76.
3. Vintsiuk T.K. Analiz, raspoznavanije i smyslovaja interpretatsija rechevykh signalov. Kiev: Naukova dumka. 1987.
4. Young S.J. HTK Book, version 3.1 / Young S.J. [et al]. Cambridge University. 2002. 355 p.
5. Peder Olsen and Satya Dharanipragada, "An efficient integrated gender detection scheme and time mediated averaging of gender dependent acoustic models," Eurospeech, 4, p. 2509-2512, September 1-4, 2003, Geneva Switzerland.
6. Sazhok M. Shtuchnyj intelekt. Donec'k. 2009. № 4. S. 230-233.

RESUME

R.A. Selyukh, O.A. Yukhymenko

Speaker Adaptation Application in Isolated Word Recognition Systems

The paper deals with different variants of practical application of speaker adaptation for phoneme recognition of Ukrainian isolated words. The method of Maximum Likelihood Linear Regression (MLLR) is described. The matrixes of linear transformation are estimated in order to correct initial acoustic phoneme models. The results of experimental research of the adapted recognition system are discussed; particularly the amount of words in the adaptation sample is analyzed. Speaker dependent models are developed using training data from a single speaker. Recognition accuracy for any other users would be poor. Adaptation technique are applied to well trained speaker dependent model set to enable it to better model for the characteristics of particular speakers.

Стаття надійшла до редакції 02.07.2012.